

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Ekologija morskih zmija
The ecology of marine snakes

Tomislav Ključari
Mentor : Milorad Mrakovčić
Zagreb, 2009.

1	Uvod	3
2	Taksonomija i rasprostranjenost.....	4
2.1	Taksonomija.....	4
2.2	Rasprostranjenost.....	4
3	Ekologija	7
3.1	Staništa.....	7
3.2	Tjelesna veličina i spolni dimorfizam.....	8
3.3	Razmnožavanje	8
3.3.1	Parenje.....	8
3.3.2	Ovoviviparnost i oviparnost.....	9
3.3.3	Ciklusi i sazrijevanje.....	9
3.4	Život i ponašanje	10
3.5	Strategije lova	11
3.6	Neprijatelji	12
4	Izmjenjena fiziologija i morfologija.....	14
4.1	Adaptacije na život u moru	14
4.1.1	Sol i voda	14
4.1.2	Zrak	16
4.2	Osjetila	20
5	Otrovi	21
5.1	Sastav otrova.....	21
5.2	Djelovanje otrova.....	23
6	Zaključak.....	24
7	Literatura	25
8	Sažetak	26
9	Summary	26

1 Uvod

Morske zmiје su skupina zmiја, različitih porodica, koje su prilagođene životu u moru, djelomično ili potpuno. One imaju sve karakteristike tipičnih zmiја: nemaju noge, imaju jedno plućno krilo (drugo ili nemaju ili je zakržljalo), rašvasti jezik, oči bez kapaka, ljuske i sl., ali se razlikuju prema morfologiji i ekologiji. Najčešće su u Indijskom i Tihom oceanu, a za Atlantik se govori da nema niti jednu vrstu. One su sekundarno prilagođene životu u vodi, nakon razvoja kopnenih zmiја od fosorijalnih guštera. "Ta slika je nedavno poremećena nalaskom fosila iz Krede koji kombinira zmijoliko tijelo koje ima dobro razvijene stražnje noge (primitivna osobina), s izvedenom strukturom lubanje koja ima slične karakteristike kao i izvedena lubanja postojećih zmiја. Ovi fosili su nađeni u morskim slojevima, a mososauri (mezozojska loza morskih guštera) su predloženi kao sestrinska skupina zmijama." (Pough, F. Harvey, Janis, Christine M., Heiser, John B., (1996.)2005.) Čini se kako su morske zmiје raznih porodica konvergentno evoluirale, bez međusobnog kontakta. Više prilagodbi za život u slanoj vodi izronilo je nezavisno nekoliko puta. Najprije ću napisati kamo ih možemo svrstati taksonomski, gdje žive u svijetu, potom u kakvim staništima žive, što jedu, kako se razmnožavaju i općenito neke zanimljivosti o njima. Na kraju ću zaroniti u njihovu fiziologiju i otkriti neke mehanizme njihova prebivanja u takvom okolišu i osnove djelovanja njihova otrova.

2 Taksonomija i rasprostranjenost

2.1 Taksonomija

Od 15 živu ih porodica zmija 4 imaju vodene, odnosno morske vrste. To su porodice *Colubridae*, *Acrochordidae*, *Laticaudidae* i *Hydrophiidae*. Nova taksonomija svrstava *Hydrophidae* i *Laticaudidae* u porodicu *Elapidae* kao potporodice. Čini se da je svaka skupina samostalno izrodila morske vrste. Iz porodice *Colubridae* 2 potporodice su se prilagodile životu i u vodi. To su *Homalopsinae* i *Natricinae*. *Homalopsinae* imaju 11 rodova s ukupno 35 vodenih vrsta, a 9 su morskih. *Natricinae* imaju 37 rodova i 185 vrsta, no samo ih je nekoliko vodenih, a 1 rod (*Nerodia*) morski. Ovaj rod ima 3 vrste, a samo jedna je bez dilema morska, dok su druge dvije i slatkovodne i morske. Porodica *Acrochordidae* ima samo 1 rod (*Acrochordus*) s 3 vrste od kojih je samo 1 morska i slatkovodna dok su ostale samo slatkovodne. Porodica *Laticaudidae* sadrži 1 rod (*Laticauda*) s 4 (8 prema novijim podacima) vrste od kojih su 3 morske (7). *Hydrophiidae* imaju 16 rodova i 54 vrste i sve osim 1 su morske. Od 70 znanih vrsta 53 su *Hydrophiidae*, 9 *Homalopsinae*, 4 *Laticaudae*, 3 *Natricinae* i 1 *Acrochordidae*. Brojke kojima se služim nisu recentne, već iz 1986., pa ih treba smatrati okvirima.

2.2 Rasprostranjenost

Osim nekoliko vrsta iz potporodice *Natricinae* sve morske zmije žive u tropskom i suptropskom području, tj. južnoj i jugoistočnoj Aziji te Australiji. "Morske zmije se pojavljuju u tropskim i suptropskim vodama Indijskog i Tihog oceana od istočne obale Afrike do Panamskog zaljeva." (Rasmussen, A.R. 2001.) Najveća raznolikost im je zabilježena u vodama oko sjeverne Australije (37 vrsta), Malezije i arhipelaga Indonezije (36 vrsta). Što sjevernije idemo to se smanjuje broj vrsta.

Hydrophiidae su najrasprostranjenija porodica, a *Pelamis platurus* (Žutotrbušna morska zmija) je najrasprostranjenija vrsta s prebivalištima od kontinentalnog šelfa istočne Afrike preko obala južne Azije, Australazijskog arhipelaga do Japana i istočne australske obale i preko Tihog oceana do obala Amerike, dok su zalutale jedinke na sjeveru i oko Tasmanije i u Novog Zelanda. Zanimljivo je da ova vrsta živi većinom u plićim djelovima

šelfova. Ostale vrste su rasprostranjene od Perzijskog zaljeva, prema Aziji i Australiji i sjevernije do Japana i Kine. Više izvora tvrdi da Atlantik i Karibi nemaju niti jednu vrstu.

Laticaudidae se nalaze u vodama kontinentalne jugoisto ne Azije, oko Indonezije, Filipina, Nove Gvineje i jugozapadnih tihooceanskih otoka.

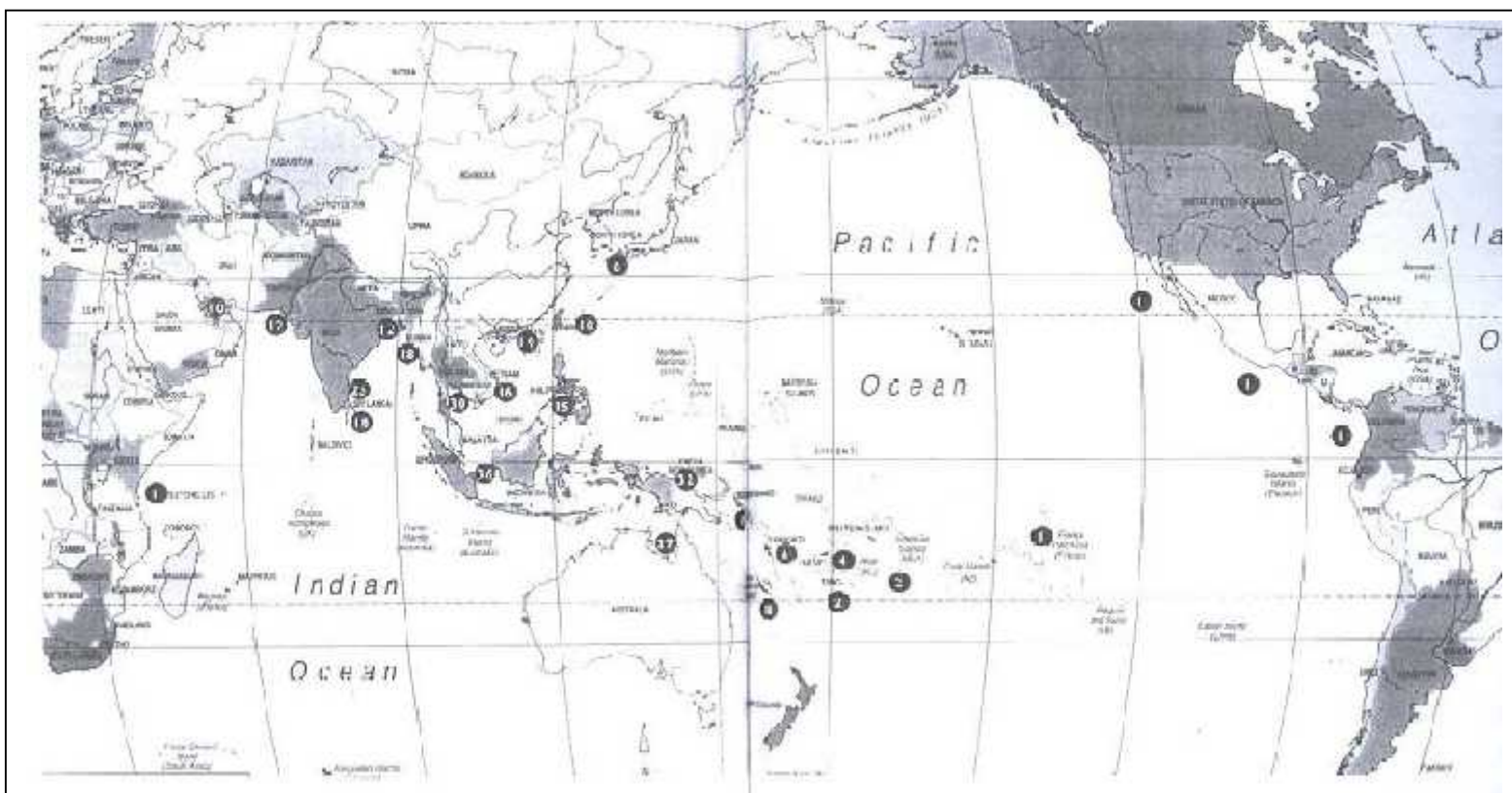
Morske *Natricinae* (možda je ispravnije nazvati ih slanovodnim) naseljavaju estuarije i slatine suptropske sjeverne Amerike. *Nerodia fasciata clarki* u slatinama Meksi kog zaljeva i južne atlantske obale SAD-a, *Nerodia fasciata compressicauda* u mangrovama Kube i južne Floride, *Nerodia fasciata taeniata* u slatinama isto ne Floride, *Nerodia sipedon williammengelsi* u slatinama Sjeverne Karoline i *Nerodia valida* na tihooceanskoj obali Meksika. Sve vrste žive u plitkim vodama ili samo zalaze u njih po hranu te se nikada ne udaljavaju od kopna.

Homalopsinae su rasprostranjene u Indiji, jugoisto noj Aziji, Indoneziji, Filipinima, Papua Novoj Gvineji, Solomonskim otocima i sjevernoj Australiji. *Bitia hydroides* u obalnim vodama Burme, Tajlanda i Malezije, *Cantoria violacea* oko Burnme i Malezije, *Cantoria annuata* oko Nove Gvineje su potpuno morske, a *Cerberus rynchops* i *Fordonia leucobalia* u južnoisto noj Aziji, isto noindijskom arhipelagu i sjevernoj Australiji te *Myran richardsonii* u Novoj Gvineji i Australiji naseljavaju mangrove. *Gerarda prevostiana* je rasprostranjena od Indije do Tajlanda i u Tajlandu naseljava mangrove, a *Enhydria benneti* i *E.chinensis* koji žive u Kini znaju naseliti more i slatke vode.

Acrochordidae (*Acrochordus granulatus*) imaju sli no rasprostranjenje kao i *Homalopsinae*.

Gledaju i regionalnu rasprostranjenost (slika 1.) (koja je otežana jer političke granice imaju zna enja samo ljudima) Arapski zaljev naseljavaju *Hydrophilidae* (10 vrsta), Pakistan *Hydrophidae* (10 vrsta) te se u prošlosti spominju i *Acrochordidae* i *Homalopsinae*, Indiju *Acrochordidae* (1 vrsta), *Laticaudidae* (2 vrste), *Hydrophidae* (18 vrsta), Šri-lanku *Hydrophiidae* (13 vrsta, uz vjerojatno još 2), *Homalopsinae* (1 vrsta) i *Acrochordidae* (1 vrsta). Bangladeš ima nekompletnu listu koja uključuje *Hydrophiidae* (8 vrsta), *Laticaudidae* (2 vrste), *Homalopsinae* (1 vrsta) i *Acrochordidae* (1 vrsta), Burmu naseljavaju *Hydrophiidae* (11 vrsta), *Laticaudidae* (2 vrste), *Homalopsinae* (4 vrste) i *Acrochordidae* (1 vrsta), Tajland *Hydrophiidae* (23 vrste), *Laticaudidae* (2 vrste), *Acrochordidae* (1 vrsta) i *Homalopsinae* (3 vrste), Kambo u i Vijetnam *Hydrophiidae*

(11 vrsta), *Laticaudidae* (2 vrste) i *Homalopsinae* (3 vrste), Maleziju i Indoneziju *Hydrophiidae* (27 vrsta), *Homalopsinae* (5 vrsta), *Laticaudidae* (3 vrste) i *Acrochordidae* (1 vrsta). Australija ima faunu koja uključuje *Hydrophiidae* (32 vrste), *Laticaudidae* (2 vrste), *Homalopsinae* (3 vrste), *Acrochordidae* (1 vrsta), Nova Gvineja *Hydrophiidae* (23 vrste), *Laticaudidae* (2 vrste), *Homalopsinae* (4 vrste, neke naseljavaju i slatke i slane vode), *Acrochordidae* (2 vrste, jedna naseljava i slatke i slane vode), Solomonski otoci *Hydrophiidae* (3 vrste), *Laticaudidae* (2 vrste), *Pelamis Platurus* i *Acrochordidae* (1 vrsta), Koraljno more *Hydrophiidae* (14 vrsta), *Laticaudidae* (sve 4 vrste, jedna je slatkovodna), Nova Kaledonija *Hydrophiidae* (8 vrsta), *Laticaudidae* (2 vrste), Vanuatu *Hydrophiidae* (najmanje 3 vrste), *Laticaudidae* (3 vrste), Fiji *Hydrophiidae* (2 vrste), *Laticaudidae* (2 vrste), Tongu *Laticaudidae* (3 vrste), Niue *Laticaudidae* (2 vrste), *Hydrophiidae* (*Pelamis platurus*), Filipini *Hydrophiidae* (9 vrsta), *Laticaudidae* (3 vrste), *Homalopsinae* (2 vrste), *Acrochordidae* (1 vrsta), Tajvan *Hydrophiidae* (4 vrste, a spominju se i po još 1 vrsta *Hydrophis*, *Astortia* i *Lapemis* kao zalutale jedinke), *Laticaudidae* (3 vrste), Kina *Hydrophiidae* (13 vrsta), *Laticaudidae* (3 vrste), *Homalopsinae* (2 vrste), *Acrochordidae* (1 vrsta), Japan *Hydrophiidae* (5 vrsta, 1 vrsta roda *Lapemis* se smatra za slučajno kretanje područjem), *Laticaudidae* (3 vrste).



Slika 1. – Rasprostranjenost morskih zmija sa brojem vrsta (Heatwole, Harold, (1987.)1999. Sea Snakes, Krieger Publishing Company)

3 Ekologija

3.1 Staništa

Morske zmije naseljavaju niz različitih morskih staništa. Neke su prilagođene životu na određenom staništu, a "neke vrste su eutropne, odnosno, zauzimaju široki spektar staništa i pojavljuju se na različitim dubinama i u različitim situacijama, od blatnih, mutnih voda do prozirnih voda koraljnih grebena." (Heatwole, Harold, (1987.)1999.) Na primjer vrsta *Acrochordus granulatus* naseljava slatku vodu i slanu vodu, močvare mangrova i koraljne grebene, more do dubine 20 metara i udaljeno do 10 kilometara od obala. Još neke vrste s višestaništa su *Hydrophis ornatus*, *Lapemis curtus* te gotovo jednako raznoliko rasprostranjena *Astortia stokesii*. Druga krajnost su vrste koje naseljavaju specifična staništa, a primjeri su *Emydocephalus annulatus* koja naseljava samo koraljne grebene, *Enhydrina schiotosa* u plitkim estuarijima, neke vrste roda *Nerodia* u slatinama i neke *Homalopsinae* u mangrovama.

Razlika staništa može biti i dubina pa su tako mnoge vrste roda *Hydrophis* i vrsta *Disteira kingii* pronađene samo u dubokim morima, dok vrste rodova *Emydocephalus* i *Aipysurus* najčešće žive do dubine od 50 metara. Neke vrste naseljavaju i duboke i plitke vode ovisno o području na kojemu su, na primjer vrsta *Hydrophis coggeri* koja kod grebena Ashmore lovi na dubina od 50 metara, a kod Fijia živi u plitaku od samo jednog metra.

Uočena je i razlika između *Laticaudida* i *Hydrophiida* o ovisnosti o vodenim staništima. Naime, *Hydrophiidae* nikada dobrovoljno ne napuštaju vodu, dok *Laticaudidae* izlaze na kopno kako bi položile jaja ili razgradile obrok u sigurnosti stijena.

Jedina konstanta svim staništima je temperatura koja treba biti visoka te su sve vrste ograničene na tople tropske i suptropske vode (iako je jedinke moguće naći i u malo hladnijim vodama, one su tamo samo trenutno jer se ne mogu razmnožavati u takvom okolišu). Gotovo sve morske zmije naseljavaju Pacifički ocean, a u Atlantiku su pronađene samo neke vrste *Natricina*, poput vrste *Nerodia clarkii* koja naseljava braktine vode uz atlantsku obalu sjeverne Amerike. Pretpostavlja se da je razlog za

takvu raspodjelu relativna sporost *Hydrophiida* da prije u vodeni prolaz kod Paname koji je postojao prije 4 do 5 milijuna godina te današnje hladne vode oko južnog vrha Afrike i duž jugozapadnu obalu južne Amerike.

3.2 Tjelesna veličina i spolni dimorfizam

Velčina morskih zmija je u odraslom stadiju duga od 50 do 100 centimetara, no maksimalna duljina vrsta zna biti i veća pa se ne treba iznenaditi naići na jedinku 50 do 100% dulju od prosjeka. Kao najveće vrste možemo navesti *Laticauda colubrina* s najvećim primjerkom koji je dosegao 360 centimetara, *Hydrophis elegans* s prosjekom od 170 i najvećim primjerkom od 200 centimetara te *Hydrophis spiralis* s prosjekom 160 i maksimumom od 275 centimetara, *Disteira kingii* koja je prosječno duga 150, a najveći primjerak je bio dug 190 centimetara.

Tijela su im večinom vitka, no postoje i vrste većeg obujma. Vrsta *Astrotia stokesii* primjerice ima prosječan obujam tijela od 28 centimetara.

Spolni dimorfizam je u morskih zmija, kao i općenito gmazova, jako uočljiv. Razlika od ostalih gmazova je u raspodjeli spola koji se imati većine jedinke. Dok je kod gmazova ta raspodjela dosta ujednačena kod zmija i morskih zmija spolni dimorfizam preferira ženke koje čine u 66% slučajeva biti većine od mužjaka. Od 29 vrsta morskih zmija za koje su bili dostupni podaci od njih 19 ima većine ženke, 8 većine mužjake, a preostale dvije nemaju dovoljno izražen dimorfizam. Razlika veličina može biti značajna kao u primjeru vrste *Laticauda colubrina* gdje ženke mogu biti za trećinu dulje od mužjaka ili vrste *Aipysurus laevis* gdje su ženke ne samo dulje već i značajno teže od mužjaka. Osim veličine, spolni dimorfizam se može iskazati i u broju i obliku ljuski.

3.3 Razmnožavanje

3.3.1 Parenje

Parenje morskih zmija je slično onome njihovih kopnenih srodnika. Mužjaci su obdareni dvama hemipenisima (od kojih u parenju koriste samo jedan). Kopulatorni organi su obrasli kukama i izraslinama koje pomažu pri parenju, onemogućuju i ženku da

se otrgne i prerano prekine parenje. Koliko pomaže mužjacima, ova prilagodba im i odmaže. Naime, kako su ženke češće i snažnije, u slučaju da se usplahire tijekom parenja one će pokušati umaknuti i pritom za sobom vući i jednog partnera za hemipenis. Također, kako parenje često traje dulje vrijeme, a morske zmije dišu plućima, one trebaju isplivati na površinu i uzeti zrak, što ponovno kontroliraju ženke te je mužjacima preostalo samo da pokušaju uloviti dah kada one izrone ili dočekaju sljedeći izron. Udvaranje je uočeno samo u nekoliko vrsta. Kod vrste *Aipysurus laevis* mužjak pliva pretjerano se izvijajući iznad ženke te ju ponekad gricne za vrat. Kod vrste *Emydocephalus annulatus* mužjaci imaju bodlju na vrhu njuške kojom podbadaju ženku u predjelu glave i vrata.

3.3.2 Ovoviviparnost i oviparnost

Jedna od fascinantnih prilagodbi morskih zmija na vodeni način života je i ovoviviparnost. Ona je prisutna kod *Hydrophiida*, *Acrochordida*, *Homalopsina* i *Natricina*, dok su *Laticaudide* oviparne (osim jedne vrste, *Laticauda crockeri*, no to nije u potpunosti potvrđeno). "Poput morskih kornjaka, a različito od ostalih morskih zmija, vrste roda *Laticauda* su oviparne i napuštaju vodu da polože jaja na kopnu" (Heatwole, Harold, (1987.)1999.) Ovakve zmije uopće ne trebaju izlaziti na kopno pa ih se doista može smatrati vodenim organizmima i svrstati u jednaku skupinu prilagođenost kao i kitove. Kod ovoviviparnosti se rađaju živi mladi jer se razvoj u jajetu odvija unutar tijela majke, a u ekstremnim slučajevima se ljuska jaja i ne razvija. Zanimljivo je da postoji razlika u ovoviviparnosti morskih i kopnenih zmija i to u smještaju jaja u tijelu majke. Kod vodenih vrsta jaja su smještena bliže sredini tijela i glavi nego kod kopnenih kako bi se efikasnije kretale u vodi. Mladi su dobro opskrbljeni žumanjkom, a razvoj u majci traje nešto dulje nego kod kopnenih ovoviviparnih vrsta. Vrsta *Enhydrina schistosa* ima gestacijski period od 4 mjeseca koliki je i kod kopnenih vrsta, dok je kod *Aipysurus laevis* on 9, a kod *Acrochordus granulatus* čak 11 mjeseci. Nakon podvodnog poroda majka se više ne brine za mlade.

3.3.3 Ciklusi i sazrijevanje

Iako žive u toplim predjelima različite vrste morskih zmija imaju različite rasplodne cikluse. Kod nekih sezona parenja traje samo 2 mjeseca poput vrste *Hydrophis*

coggeri, kod drugih su razlike u pravilnosti ciklusa. Kod tri vrste zmija koje su simpatrike, a naseljavaju isto područje kod Filipina jedna (*Laticauda colubrina*) se parinesezonski, druga (*Cerberus rynchops*) je djelomično sezonska, a treća (*Acrochordus granulatus*) se pari sezonski i sinkrono. Kod vrste *Aipysurus laevis* parenje se događa u proljeće, gestacija traje 9 mjeseci, a majka nakon rođenja mladih u jesen, majka treba cijelo sljedeće ljeto da se oporavi. Ova vrsta se zna i razmnožava svake dvije godine, a sliani ciklus se može primjetiti i kod *Acrochordus granulatus* čija je gestacija od 5 do 8 mjeseci. Kod oviparnih vrsta poput *Laticauda semifasciata* rasplod se događa i više puta godišnje. Neke vrste pokazuju različite načine razmnožavanja ovisno o području na kojemu se nalaze pa tako mogu biti sezonske i nesezonske. *Acrochordus granulatus* se razmnožava sezonski kod Filipina, a nesezonski kod tjesnaca Malacca, dok je *Laticauda colubrina* nesezonska kod Filipina, a sezonska kod Fijia.

Spolno sazrijevanje traje od 1 do 4 godine. Jedinke vrste *Bitia hydroides* sazriju za 1 godinu, *Enhydria schitosa* za 1.5 godinu, a *Aipysurus laevis* za 3 (mužjaci) odnosno 4 do 5 godina (ženke).

Broj anidnosi među spolovima variraju. Neke vrste su ujednačene kod okota, a neke poput *Laticauda colubrina* i *L. semifasciata* imaju više mužjaka. Leglo morskih zmija je često manje od kopnenih zmija, od 1 do 10 mladih (često su brojke niže od 6), ali ima iznimaka sa 10 do 18 mladih. Velikina ženke ima utjecaj na broj mladih pa i njihovu veličinu. Istraživanja su pokazala da biološki, morske zmije teže investiranju više energije u manji okot.

3.4 Život i ponašanje

Među morskim zmijama postoje noćne, dnevne, sumračne (*Aipysurus duboisii*) i one koji nemaju određen period aktivnosti. Kada spavaju obično se umire pod vodom, a san im traje samo koliko i dah. Kod nekih je zabilježena povezanost ciklusa dana i noći i plime i oseke u njihovim aktivnostima. Kako bi došle na nova staništa mnoge vrste su morale prije i nepovoljne okoliše ili migracijom ili pasivno strujama. "Spektakularno nakupljanje morskih zmija je prijavio Willoughby Lowe kod tjesnaca Mallaca 1932. godine. S brodske palube je promatrao gotovo solidnu masu zmija za koje se pretpostavlja da su

vrsta *Astrotia stokesii* u liniji oko 3 metra širokoj i 100 kilometara dugoj, koja je doslovno sadržavala milijune jedinki, od kojih su mnoge bile međusobno isprepletene. " (Heatwole, Harold, (1987.)1999.) Ovaj fenomen za sada nije objašnjen. Obične migracije su naprotiv često zabilježavane i dani su mnogi razlozi za njih: rasplodni ciklusi, ciklusi plime i oseke, promjena struja i sl. Morske zmije se kao i kopnene presvake, no njima je to često puno korisnije jer se time rješavaju nametnika, više ili manje štetnih poput algi i bryozoa. "Neke morske zmije su nježna, bezopasna stvorenja koja grizu samo kada su isprovocirane, ali druge vrste su mnogo agresivnije (*Aipysurus laevis*, *Astrotia stokesii*, *Enhydra schistosus*, *Hydrophis*). "(Rasmussen, A.R. 2001.)

3.5 Strategije lova

Primjećena su 4 načina traženja hrane. Traženje po pukotina uključuje zmiju koja jezikom ispituje tlo i zaviruje u pukotine i rupe. Kada namiriše plijen (jezikom), ili ga ugrize i odmah proguta ako je manji, ili čekajući da otrov svlada plijen. Nekada plijen ponesu na površinu da ga progutaju. Ako zmija misli da postoji još koja pukotina koju plijen može iskoristiti za bijeg, ona će se omotati oko skrovišta ako je moguće. Zabilježeni su i slučaji kada se zmija omotala oko plijena da spriječi bijeg. Drugi način je krstarenje po dnu gdje zmija polagano roni blizu dna i reagira tek kada se približi plijenu na nekoliko centimetara ili se čak zabije u njega. Zmija napada bilo no i ako ulovi plijen drži ga dok pliva. Kada se plijen umiri otpušta ga i pozicionira za gutanje, najčešće započinjajući s glavom. Treći način je zasjeda i primjećeno je kod vrste *Pelamis platurus*. Zmija pluta po površini mora čekajući ribu koju napada bremenim pokretom glave. Ako je potrebno zmija pliva unatrag. Zadnji uočeni način je kod vrste *Emydocephalus annulatus* koja jede jaja koja struže posebnom ljuskom iznad usnica.

Prehrana morskih zmija uključuje ribe, školjke, riblja jaja (kod iznimaka), žabe, a rakove i puževe kod samo jedne vrste. Pokazalo se da zmije imaju svoje omiljene plijenove i one kojima se ne hrane. Neke su generalisti i jedu ribe bez diskriminacije, dok su drugi visoko specijalizirani poput *Emydocephalus annulatus*, *E. ijime* i *Aipysurus annulatus* koji se hrane samo ribljim jajima.

3.6 Neprijatelji

Neke zmiје su toliko ozloglašene da gotovo nemaju neprijatelja. *Pelamis platurus* (slika 2.) je u vodama koje naseljava siguran od napada predatorskih riba, čak i morskih pasa. "Ira Rubinoff i Chaim Kropach su u akvarijima s morskom vodom proveli eksperimente koji su pokazali da plejada predatorskih riba, uključujući i morske pse, ne samo da nisu nadali jedinku *Pelamis platurus*, već su obično i odbijali njihovo meso, čak i kada je bilo bez kože, isječeno na komade, različit obojano ili stavljeno između komada mesa sipa." (Heatwole, Harold, (1987.)1999.) Ptice koje ulove jedinku ove vrste ubrzo je odbace. Ako tko zabunom pojede meso ove vrste brzo ga povraća. Samo su rakovi sužamjeni da jedu njihove strvine. Očito je da i boja i kemijski spoj koji ova vrsta izlučuje imaju utjecaja. Predatori koji nisu autohtoni morima koje vrsta naseljava često su pokazali da nemaju nikakvih problema sa lovom ove zmiје, ali su meso svejedno povratili. Ostale morske zmiје imaju svoje predatore među pticama npr. *Haliastur indus* i *H.leucogaster*, morskim psima, rakovima npr. *Scylla serrata*.



Slika 2. – *Pelamis platurus* (<http://www.fieldherpforum.com/PictureOfTheWeek/>)

Za razliku od većih lovaca, mnoštvo endoparazita je prihvatilo morske zmije kao plijen. Neki su specifični jer obično parazitiraju na kopnenim kralješnjacima, ali se nalaze i u morskim zmijama roda *Laticauda* koje se redovito kreću u kopnom. Primjer je grinja vrste *Vatacarus ipoides* koja parazitira u dušniku na vrsti *Laticauda colubrina* (slika3.). "Većine grinje koje izgledaju poput larvi (crva) ili neosomi, bile su ograničene na gornji dio dušnika, nekoliko ih je našlo u stražnjem dijelu, ali niti jedna u plućnom krilu." (Nadchatram, M. 2006.) Kod raznih zmija pronađeni su i različiti nematodi u probavilu ili plućnom krilu, grinje u plućnom krilu i sl. Ektoparaziti su rijetki, nekoliko vrsta grinja i krpelja koji su također parazitiraju na rodu *Laticauda*.



Slika 3. – *Laticauda colubrina* (<http://www.divetrip.com/phot0410c.htm>)

4 Izmjenjena fiziologija i morfologija

4.1 Adaptacije na život u moru

Kako smo već spomenuli morske zmije su se tek sekundarno prilagodile moru (vodi). To su u inili i neki drugi organizmi poput kitova, a svi su za to trebali razviti određene osobine za potpuno različite uvjete života od kopnenih.

4.1.1 Sol i voda

Najveći problemi su višak soli i manjak slatke vode. Morske zmije ne mogu podnositi jednaku koncentraciju soli u tjelesnim tekućinama kakva je u morskoj vodi. Morska voda je u ovom slučaju hipertonična otopina koja može dehidrirati zmijin organizam. Sama sol u tjelesnim tekućinama je jednako opasna i potrebno ju je kontrolirati. Kako bubrezi gmazova tj. morskih zmija nisu dostatno prilagođeni za ovu funkciju, oni se koriste razvijenom podjezičnom žlijezdom za izbacivanje viška. U morskih zmija porodica *Laticaudidae* i *Acrochordidae* posteriorna podjezična žlijezda izlučuje slanu tekućinu u tok zmijina jezika, iz kojeg se izbacuje kada zmija izbaci jezik. (Pough, F. Harvey, Janis, Christine M., Heiser, John B., (1996.)2005.) Ova žlijezda je prisutna kod *Hydrophiida*, *Laticaudida* i *Acrochordida*. *Homalopsinae* imaju premaksilarnu žlijezdu, naravno u prednjem dijelu gornje čeljusti, koja ima istu funkciju. *Natricine* uopće nemaju analognu žlijezdu.

Dehidracija preko kože je značajno smanjena kožom iznimno otpornom na prolaz vode. Gubitak vode je čak do 50% manji nego u slatkovodnih zmija. Naravno, postoje iznimke, a to su u ovom slučaju dvije ili više vrste roda *Hydrophis* koje imaju gubitak vode samo do 18% manji od slatkovodnih. Koža morskih zmija je doista posebna, ona sprečava izlaz vode, ali joj dopušta ulaz. "U drugu ruku, koža morskih zmija je otporna na ulaz soli unutra i samo mala količina soli iz morske vode u kojoj su uronjene uspijeva ući putem integumenta." (Heatwole, Harold, (1987.)1999.) *Natricinae* pak koriste drugu taktiku. Vrste koje naseljavaju slatine i estuarije imaju nešto otporniju kožu na prolaz vode i soli od slatkovodnih, ali i ne piju slanu vodu. Kako bi unijele vodu u organizam morske zmije piju morsku vodu, ali i slatku vodu kada je dostupna. *Laticaudae* su uočene

na kopnu kako piju slatku vodu iz bara, sa liš a tijekom ili nakon kiše i vodu koja se slijeva s njihova tijela tijekom kiše kada vise sa biljaka.

Drugi problemi su vezani uz kretanje u vodi koja je, o ito, guš a od zraka, disanje i tlak koji je ve i pod vodom. Sve zmije mogu plivati lateralnom undulacijom, morske zmije su samo bolje prilago ene za to (neke su toliko prilago ene da se ne mogu kretati kopnom). "Rep se bo no spljoštio u obliku vesla, velike ventralne ljuske su reducirane ili odsutne kod ve ine vrsta, a nosnice su locirane dorzalno na njušci i imaju ventile koji zaustavljaju vodu." (Pough, F. Harvey, Janis, Christine M., Heiser, John B., (1996.)2005.) Tijelo se djelomi no suzilo, a spljošteni rep je uo en kod *Hydrophiida* i *Laticaudida*. Takav rep je puno u inkovitiji za plivanje i omogu uje brže i sigurnije kretanje. Neke *Homalopsinae* imaju samo malo spljošten rep, a druge *Homalopsinae* i *Natricinae* imaju rep poput kopnenih zmija, dok *Acrochordidae* imaju razvijen miši koji im služi kao kormilo. ini se da utje e na odabir staništa pa ove zmije naj eš e nastanjuju pli e i mirnije vode bez valova za razliku od *Hydrophiida* i *Laticaudida*. Postoje i razlike u gra i trbušnih ljusaka izme u morskih i kopnenih zmija, a i me u samim morskim zmijama. Kopnene zmije imaju ve e ventralne ljuske koje se ulažu jedna u drugu s prednje strane, a slobodne su sa stražnje strane kako bi se omogu ilo nesmetano kretanje prema naprijed, a ostavila mogu nost stvaranja otpora kretanju unazad. Morske zmije ve inom nemaju potrebe za ovakvom formom komunikacije s okolišem pa su im ventralne ljuske gotovo jednake veli ine kao i dorzalne. Samo one koje još izlaze na kopno, poput *Laticauda* i rijetkih *Homalopsina* i *Hydrophiida*, su zadržale ve e ventralne ljuske.

I druge ljuske su se morfološki prilagodile kako bi zmijama omogu ile život u vodi. Ljuske oko usta su oblikovane kako bi sprije ile ulaz vode i dobro prilježu kada su usta zatvorena, ostavljaju i samo dovoljno prostora za prolaz jezika.. Ljuske oko kloake su tako er izmijenjene i izduljene unatrag kako bi ju vrsto zatvorile. Izmijenjene su i nosnice. Kod *Hydrophiida* one imaju zaliske koji su spojeni na njih tako da se otvaraju prema unutra kada su otvoreni. Kada su zatvoreni sprije avaju ulazak vode i izlaz zraka. Tkivo koje otvara i zatvara ove zaliske je sli no onom spongioznom tkivu koje omogu uje erekciju penisa. Kada je puno krvi ono nabubri i potakne zatvaranje zalistaka.

Kod drugih porodica nema ovakvih zalistaka, ali postoji spongiozno tkivo koje samo bubrenjem zatvara nosnice.

4.1.2 Zrak

Postoje morske zmije koje većinu vremena provode na dnu mora na dubinama od oko 100 metara. Po zrak moraju izroniti tek svaka 2 sata. Većina ipak obitava na manjim dubinama i već ih uzimaju zrak. Trajanje boravka pod vodom ovisi o njihovom ponašanju tj. da li love, spavaju i sliče. Zmije su kao gmazovi egzotermni i ovise o okolini kada je u pitanju toplina. Morske zmije su temperaturno jednake okolnom moru ili, u slučaju tamnije obojenih zmija koje se zadržavaju na površini kako bi se ugrijale primanjem sunčane energije, do 3 stupnja Celzijusa toplije (zbog kondukcije vode). Kako ne trebaju trošiti energiju za održavanje stalne temperature tijela, potrebno im je manje kisika za funkcioniranje. Svi gmazovi teoretski mogu zadržati dah dulje od endotermnih ptica i sisavaca, a morske zmije su još bolje prilagođene. Pri izronu udahnu svega 1 do 3 puta. Ekstremne Hydrophiidae čak i kada su na površini vode dišu jednako kao i pod vodom, održavaju i apneju. Iako bi se očekivalo da se potrošnja kisika minimizira anaerobnom respiracijom (glikoliza gdje se šećeri glukoze i fruktoze prevode u piruvat, kasnije prevođenje piruvata u laktat, sve bez korištenja kisika uz proizvodnju energije pohranjene u obliku ATP-a) koja bi zahtjevala kasniju nadoknadu kisika (ne događa se u ta 3 udaha) ili smanjenjem metaboličkih funkcija (doista se događa kod vrste *Acrochordus granulatus* koja ima minimaliziran metabolizam), pokazalo se da morske zmije najviše koriste treću opciju koja je kombinacija nekoliko osobina.

Jedna razlika od kopnenih vertebrata je građina njihova plućnog krila. Umjesto dvaju kopnenih i morske zmije imaju jedno plućno krilo (moguće i jedno zakržljalo). Plućno krilo se proteže do kloake i čini se da ima hidrostatsku ulogu u prilagođavanju dubine pri ronjenju, kao i pri disanju. (Pough, F. Harvey, Janis, Christine M., Heiser, John B., (1996.)2005.) Središnji dio se naziva bronhealno plućno krilo i služi za izmjenu plinova preko spleta krvnih žila, dok se prednji dio naziva trahealno plućno krilo i zapravo je modificirani dušnik. Zid dušnika je također dobro opskrbljen žilama poput pravog plućnog krila, a da je dušnik se može prepoznati po ostacima hrskavične potpore u donjem zidu. Ova dva dijela se zajedno nazivaju vaskularno plućno krilo.

Zadnji dio plu nog krila se naziva sakularno ili vre asto plu no krilo i siromašno je žilama. Ovaj dio služi za pohranu zraka. Zapravo je ovakav oblik plu a (izduljen) jako neefikasan jer mu je volumen smanjem (za razliku od ovalnog), a površina za izmjenu plinova, a time i brzina izmjene plinova povećana. Vre asti dio je doista nužan dio, a samo djelomično kompenzira ovu manu. Tako se pri udisaju stari zrak kreće prema vre i i pušta svježi zrak u vaskularno plu no krilo. Ova prednost pogoduje i kopnenim zmijama pri gutanju plijena koje može biti dugotrajno. Razlika između plu a kopnenih i

Tablica 1. – Krvne statistike (Heatwole, Harold, (1987.)1999. Sea Snakes, Krieger Publishing Company)

Family & Species	Hematocrit (%)	Blood Volume (%)	Oxygen Capacity (vol. %)	Habitat
ACROCHORDIDAE				
<i>Acrochordus acajuna</i>	21.6	—	—	Fresh water
<i>Acrochordus granulatus</i>	41.0, 50.1, 57.2	12.5, 13.3	16.2, 19.8	Fresh water and marine
<i>Acrochordus javanicus</i>	21.0	—	16.2	Fresh water
HOMALOPSINAE				
<i>Cerberus rynchops</i>	52.2	3.9	3.6	Marine, shallow
NATRICINAE				
<i>Nerodia fasciata</i>	22.0	—	—	Semi-aquatic, fresh and salty water
<i>Nerodia sipedon</i>	29.5	—	9.3	Semi-aquatic, fresh and salty water
LATICAUDIDAE				
<i>Laticauda colubrina</i>	24.3, 29.8, 34.9	5.9, 6.5	10.7, 10.9, 11.0	Amphibious marine
HYDROPHIIDAE				
<i>Acalyptophis peronii</i>	27.6, 32.7	5.0, 5.5, 5.9	7.9	Deep marine
<i>Aipysurus apraefrontalis</i>	28.3	—	—	Shallow marine
<i>Aipysurus duboisi</i>	35.8	5.7, 6.4	—	Marine
<i>Aipysurus foliosquama</i>	35.3	—	—	Shallow marine
<i>Aipysurus laevis</i>	32.8, 33.4	6.0, 7.5, 8.3	12.7	Marine
<i>Astrotia stokesii</i>	35.7	—	—	Marine
<i>Emydocephalus annulatus</i>	29.8, 31.3	5.0, 7.5, 7.9	6.5	Marine
<i>Hydrophis coggeri</i>	29.4, 30.9, 35.8	5.9, 5.1, 9.2, 9.9	10.8	Marine
<i>Hydrophis cyanocinctus</i>	32.2	—	—	Marine
<i>Hydrophis elegans</i>	33.7	—	—	Deep marine
<i>Hydrophis semperi</i>	38.2	—	—	Fresh water
<i>Lapemis caurus</i>	31.6	9.8	—	Marine
<i>Pelamis platurus</i>	26.5, 26.6	3.9	10.2	Marine, surface pelagic
ELAPIDAE				
<i>Naja naja</i>	24.0	—	—	Terrestrial
<i>Pseudochis purpurhiatus</i>	23.2	—	—	Semi-aquatic, fresh water
OTHER SNAKES				
Other semi-aquatic Natricinae	31.8 (4 spp.)	4.6 (1 sp.)	7.8 (1 sp.)	Semi-aquatic
Terrestrial Colubridae	29.1 (12 spp.)	5.8 (3 spp.)	6.5 (9 spp.)	Terrestrial
Boidae	27.0 (3 spp.)	—	8.2 (4 spp.)	Terrestrial
Viperidae	25.5 (7 spp.)	5.4 (1 sp.)	9.2 (2 spp.)	Terrestrial
Xenopeltidae	—	—	10.0 (1 sp.)	Terrestrial
TURTLES	27.6 (21 spp.)	6.0 (4 spp.)	7.8 (13 spp.)	Semi-aquatic to aquatic
CROCODILIANS	27.2 (5 spp.)	5.8 (1 sp.)	9.5 (3 spp.)	Semi-aquatic
LIZARDS	29.3 (24 spp.)	5.2 (4 sp.)	9.2 (38 spp.)	Terrestrial

Note: Values are means. Where multiple values are listed, they are from different literature sources.

morskih zmija je ugrađeno i vrećasto dijelo koje je kod kopnenih tanke stijenke, a kod morskih debele mišićave stijenke koja je potrebna za miješanje starog potrošenog zraka i onog pohranjenog u vrećice se povećava efikasnost disanja. *Acrochordidae* imaju još modificiranije plućno krilo, možda u rangu onoga ptica. Naime njihovo plućno krilo se sastoji od dviju cijevi, jedna u drugoj, s time da unutarnja cijev ima perforacije bočnih strana kojima je povezana s vanjskom cijevi koja je podijeljena na odjeljke koji su međusobno opet povezani samo preko unutarnje cijevi.

Sljedeća prilagodba za povećanu koncentraciju kisika je krv. Iako je najjednostavnije zaključiti da je ovo izvedeno jednostavno velikim povećanjem volumena krvi u tijelu morskih zmija to nije istina. Volumen (tablica 1.) kod dosta vrsta je malo povišen od onih kopnenih, ali je kod drugih manji. Kod gmazova je on oko 5 do 6 % tjelesnog volumena, a kod morskih zmija oko 9%. Jedina iznimka je vrsta *Acrochordus granulatus* koja ima puno veći volumen krvi od drugih (13%). Druga opcija je povećanje hematokrita (tablica 1) tj. udjela krvnih stanica u krvi. Ovo ponovno nije vitalna osobina, iako je hematokrit malo povišen kod morskih zmija (gmazovi 27 do 29%, morske zmije ponovno osciliraju od 21 do 36%, poneki 38%) i naravno vrste *Acrochordus granulatus* kod koje je možda najviši među kralješnjacima (preko 50%). Kapacitet krvi za vezanje kisika (tablica 1) je također neosnovano ispitan i pokazuje male oscilacije (gmazovi 7 do 10%, morske zmije 7 do 12%) uz očiglednu iznimku *Acrochordus granulatus* (16 do 18%) i *Cerberus rynchops* (3.6%). Sumnjalo se i na Bohrov efekt kod zadržavanja daha (povećano otpuštanje kisika iz krvi pri povišenoj koncentraciji ugljik dioksida), ali se pokazalo da nema veze sa sposobnošću u morskih zmija.

Jedna od novih prilagodbi za dulji ostanak pod vodom jest disanje kroz kožu. Morske zmije mogu pokriti od 5 do 21% posto potreba za kisikom disanjem kroz kožu i pri tome se riješiti dijela ugljikova dioksida. (nažalost *Acrochordus granulatus* je u ovom slučaju prosječna vrsta s 10%) Ova se osobina pomalo sukobljava s nepropustljivošću kože za soli pa se postigao optimalni balans. Primjećeno je da vrste koje žive u mangrovama imaju manju permeabilnost za kisik što je odgovor na okoliš koji je siromašan kisikom zbog više temperature i oksidativne bakterijske razgradnje detritusa, a bogat ugljik dioksidom. Vrste koje žive blizu površine mogu brzo izroniti po kisik, a one koje su često na kopnu poput roda *Laticauda* nemaju puno koristi od ovakve prilagodbe.

Kod uštede energije, a time i kisika bitan je i krvotok i cirkulacija krvi. Morske zmije imaju jako štedljivu i efikasnu cirkulaciju pomalo nalik na fiziološku promjenu koja se kod drugih kralješnjaka naziva ronilački sindrom. Kod ove situacije se pri zaronu smanji cirkulacija u sve nevitralne organe, dok dotok krvi u mozak, srce i pluća ostaje konstantan. Srce pri tome ne treba toliko snage pa se štedi energija i snižuje puls. Prilikom izrona obnavlja se zasićenost kisikom i cirkulacija krvi do svih organa te se puls vraća u normalu. Kod morskih zmija je slučaj obrnut. Njima se puls ubrza pri izronu kako bi se krv maksimalno zasitila kisikom, a pri zaronu se puls vrati u normalu. Srce morskih zmija je nalik srcima drugih gmazova (uz iznimku krokodila). Ono ima 2 pretkljetke i 1 kljetku podijeljenu u 3 dijela. Iz kljetke izlaze 3 žile, 2 su sistemske koje prenose krv do organa i 1 koja vodi krv u plućno krilo. Srce ima ventile, zaliske i septe koje omogućuju usmjerivanje krvi u posebno smještene žile. Oksigenirana krv ulazi u lijevu pretkljetku i kroz ventil u kljetku. Prilikom kontrakcije lijeve pretkljetke krv pritisne zalistak na jednu septu kljetke i usmjeri se u tzv. *cavum arteriosum*. Deoksigenirana krv iz tijela krene u desnu pretkljetku i kroz ventil u *cavum venosum* i dalje u *cavum pulmonale*. Kako se *cavum venosum* nalazi između *cavum arteriosum* i *pulmonale* može doći do miješanja oksigenirane i deoksigenirane krvi prilikom kontrakcije kljetke. Tada se zatvore zalisci prema pretkljetkama, ali i jedan koji se nalazi između *cavum venosum* i *cavum pulmonale*. Krv iz *cavum arteriole* i *venosum* krene kroz sistemske žile, a iz *cavum pulmonale* u plućno krilo. Ono što ove zmije mogu jest kontrola smjera toka krvi i miješanje krvi, a to se naziva shunt. Malom manipulacijom zalistaka i izmjenom pritisaka na pretkljetke i kljetku mogu povećati protok u tijelo ili plućno krilo. Jednako tako mogu promijeniti količinu miješane krvi. Morske zmije pri prebivanju pod vodom usmjeruju većinu krvi u tijelo i kožu pojačavaju respiraciju preko nje i štedljivo troše i kisik u plućnom krilu. Pri izronu usmjeruju većinu krvi u plućno krilo kako bi se oksigenirala. Također kod nekih zmija postoji i plućni shunt, gdje su plućna arterija i vena povezane posebnom žilom pa krv ne dopijeva u kapilare sve dok tu žilu zmija mišićnom kontrakcijom ne zatvori. Osim građe srca, važna je i njegova pozicija. Srce im se nalazi bliže sredini tijela, dok je kod kopnenih zmija bliže glavi kako bi se uz još neke adaptacije kontrolirao protok krvi u glavu pri okomitom položaju. Kako je u vodi utjecaj

gravitacije na krvotok smanjen, a vodeni tlak sličan krvnom, morske zmije nemaju potreba za ovim osobinama.

Taj vodeni tlak stvara i neke komplikacije poput dekompresijske bolesti odnosno Caissonove bolesti koja nastaje pri duljem ronjenju na većim dubinama. Hidrostatski tlak djeluje na tlak u plućima i krvi pa se plinovi više otapaju u krvi. Kako je većina zraka dušik koji je slabo topiv pri atmosferskom tlaku, a dobro topiv pri većem tlaku, na većim dubinama on obogati krv, a pri brzom izronu postane netopiv i stvara mjehuriće koji oštećuju tkiva i žile. Postoji nekoliko objašnjenja kako zmije zaobilaze ovaj problem. Jedno je da shuntom usmjeruju većinu krvi u tijelu i kožu, a manje u plućno krilo pa tako balansiraju s optimalnom količinom dušika i kisika u krvi. Drugo je objašnjenje da se zmije, kada ga nakupe previše u krvi, dušika rješavaju preko kože. Kako bi mogle roniti morske zmije trebaju imati nekakvu kontrolu nad uzgonom. Jedna je pretpostavka da to rade pomoću svojeg posebnog plućnog krila i mišićavog vrećastog dijela.

4.2 Osjetila

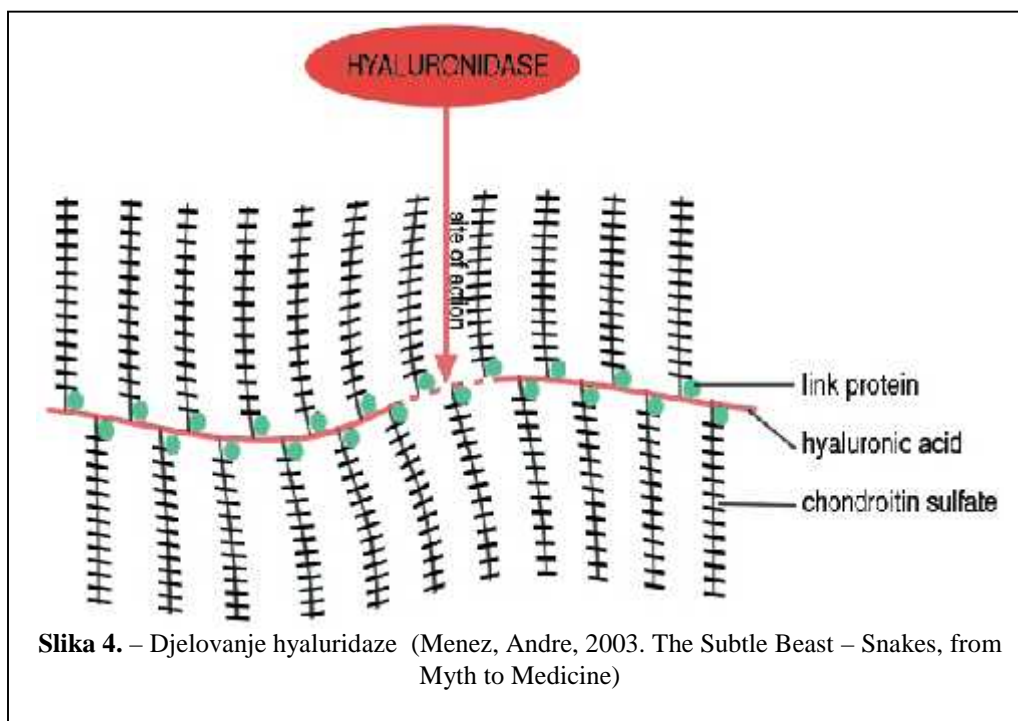
Za većinu vrsta vid nije posebno važan i mogu loviti i po danu i po noći. Love mirisom i osjećaju i vibracije u vodi. Osjetljive su i na dodir. *Laticaudae* i *Hydrophiidae* imaju Jacobsonov organ koji koriste za osjet mirisa u kombinaciji sa jezikom. Vid im je dobro razvijen pa vide na daljinu, ali ne mogu prepoznati plijen. Neke vrste imaju i udna osjetila poput *Aipysurus laevis* koja ima fotoreceptore na vrhu repa, moguće kako bi znala kada je potpuno sakrivena od predatora.

5 Otrovi

Laticaudidae (najotrovnije zmije koje nerado koriste otrov) i *Hydraphiidae* pripadaju proteroglyphnim zmijama koje se nazivaju i prednježlijezdo zubnice jer su im otrovni zubi smješteni na prednjem dijelu gornje eljusti. Uz otrovnu žlijezdu postoji i pomoćna koja nije oštro odijeljena. Čini se da prednji dio (pomoćna žlijezda) izlučuje sluz od polisaharida, a stražnji dio (otrovnna žlijezda) otrov. Otrovnne žlijezde su modificirane slinske žlijezde izduljenog oblika, po jedna sa svake strane gornje eljusti. Otrov se luči u poseban lumen, a žlijezda je okružena fibroznom ovojnicom na koju djeluju mišići (adductor externus superficialis). Zubi su dosta stabilni i samo se malo zaokreću. "Stokeova morska zmija (*Astortia stokesii*) ima zub s dubokim žlijebom čiji se rubovi ne spajaju kako bi tvorili središnji kanal. Kod drugih morskih zmija (*Laticaudae*) zub je šupalj poput potkožne igle, sa cijevi za otrov koja vodi prema bazalnom dijelu, a otvor ne leži na samom vrhu, već malo ispred njega." (Heatwole, Harold, (1987.)1999.) Zubi su često u toku i izvlače se samo pri ugrizu. *Acrochordidae* i *Natricinae* su neotrovnne. *Homalopsinae* pripadaju u opistoglyphne zmije koje se nazivaju i stražnježlijezdo zubnice jer su im otrovni zubi smješteni na stražnjoj strani gornje eljusti. Zubi imaju brojne brazde ili žlijebove kojima teče otrov pri ugrizu. Također imaju i Duvernoyevu žlijezdu koja izlučuje otrov.

5.1 Sastav otrova

Otrov se sastoji od mnoštva malih globula različitog sastava. O tom sastavu pojedinih otrova je teško govoriti jer se sastojci još identificiraju, a i razlikuju se, manje ili više, od vrste do vrste. Zna se da je otrov juha više različitih toksina i nesmrtonosnih spojeva, svaki sa svojim djelovanjem. "Otopljena tvar čini gotovo polovicu težine zmijskog otrova, uspoređeno s ne više od 1% tvari otopljene u našoj slini koja se svejedno smatra dosta bogatom." (Menez, Andre, 2003.) U zmijskim otrovima je pronađeno najmanje 26 različitih enzima koji nisu smrtonosni sami po sebi. Pretpostavlja se da bi mogli poslužiti probavljanju ili da im je to barem bila prvotna funkcija, što ima smisla ako se sjetimo da su otrovnne žlijezde zapravo modificirane žlijezde slinovnice.



Gotovo svi otrovi sadrže hyaluridaze (slika 4.), enzime koji uništavaju hyalurate koji su uz proteine sastavnica proteoglikana koji su estri u vezivnom tkivu. Ovim enzimima bi uloga mogla biti olakšavanje difuzije otrova u tkivo. Drugi gotovo uvijek prisutan enzim je fosfolipaza A2 koja uništava lipide, koji su sastavnica stanične membrane. Nadalje tu su nukleaze koje uništavaju fosfatne veze nukleinskih kiselina. Neke djeluju samo na DNA, druge na RNA, a treće na obje vrste. Proteinaze uništavaju proteine i polipeptide, neke su specifične i uništavaju npr. kolagen ili zahtijevaju metalne ione da bi funkcionirale (metaloproteaze). L-aminokiselinske oksidaze degradiraju amino kiseline. Uz njih djeluje i FAD, flavin adenin dinukleotid, pomagačka subfrakcija, koja je zaslužna i za žutu boju otrova. Postoji još mnoštvo podvrsti ovih enzima. Od ostalih spojeva spominju se NGF, nerve growth factor, koji je zapravo prisutan u karlješnjaka i inače služi za održavanje neurona. Šeeri, aminokiseline, nukleotidi i nukleozidi, lipidi flavini, histamin, serotonin, bufotenin, N-metilriptofan i pozitivni metalni ioni su samo neki od sastojaka.

5.2 Djelovanje otrova

"Službena definicija toksina je to smjesa spojeva, koja pri niskim dozama, šteti ili uništava organizam." (Menez, Andre, 2003.) Toksini se dijele na neurotoksine, miotoksine, hemotoksine i nefrotoksine koji redom djeluju na živane stanice, mišiće, krv i bubrege. Kod Hydrophiida i Laticaudida su glavni toksini neurotoksini. Neurotoksini (kod morskih zmija su oni polipeptidi) često djeluju na područje neuromišićne ploče, gdje završava živana stanica koja otpušta acetilkolin koji je potaknuti kontrakciju mišićnog vlakna. Postoje najmanje dvije vrste. Jedni djeluju na završetak aksona i onemogućuju otpuštanje vezikula sa acetilkolinom. Druga vrsta kompetira s acetilkolinom za vezna mjesta na receptorima na mišićima. Djeluju jako brzo i često su uzrok smrti paralizirajući ili mišiće oštećuju u sisavaca ili mišiće koji kontroliraju pumpanje vode preko škrga i kontroliraju operkulum u riba. Miotoksini su zapravo fosfolipaze u velikoj koncentraciji koje uništavaju membrane mišićnih vlakana. Djeluju sporije od neurotoksina i važni su za probavu plijena. Hemotoksini su mješavina fosfolipaza koje uništavaju membrane krvnih stanica (prosipa se hemoglobin) i spojeva koji sprječavaju zgrušavanje krvi. Nefrotoksini uništavaju bubrege i imaju sporo djelovanje.

6 Zaključak

Morske zmije posjeduju određeni set osobina koje su stekle tijekom duge adaptacije koji im omogućuje, za sada, nesmetani život u morima. Kako im je možda glavno ograničenje ovisnost o toplijim morima, uz globalno zatopljenje, postoji mogućnost naseljavanja Atlantskog oceana kada nestanu hladnije struje koje ih zadržavaju u Tihom oceanu. Iako su malobrojne vrstama, postoje značajne razlike među njima što je rezultat konvergentne evolucije koja ipak nije svima dala identične osobine, a time i ekologiju. Na žalost većina se rada temelji na malo starijim opservacijama pa se uviđa potreba za recentnim istraživanjima i popisivanjima vrsta uz pomoć novih tehnologija.

7 Literatura

- Heatwole, Harold, (1987.)1999. Sea Snakes, Krieger Publishing Company, Malabar, Florida
- Menez, Andre, 2003. The Subtle Beast – Snakes, from Myth to Medicine, Taylor and Francis, London and New York
- Nadchatram, M., 2006. A review of endoparasitic acarines of Malasya with special reference to novel endoparasitism of mites in amphibious sea snakes and supplementary notes on ecology of chiggers. *Tropical biomedicine* **23**, 1-22.
- Pough, F. Harvey, Janis, Christine M., Heiser, John B., (1996.)2005. Vertebrate Life – Seventh Edition, Pearson Education International, Upper Saddle River, New Jersey
- Rasmussen, A.R., 2001. Sea Snakes. U: Fao species identification for fishery purposes, The living marine resources of the western central Pacific, Volume 6, Ed. Kent E.Carpenter, Rim, pp 3987-4009.
- <http://www.divetrip.com/>
- <http://www.fieldherpforum.com/PictureOfTheWeek/>
- <http://www.reptile-database.org/>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Sea_snake

8 Sažetak

U ovom radu sam pokušao opisati neke osobine morskih zmija, najbrojnijih gmazova u morima. Iako vrstama malobrojne (70) ove su se zmije dobro prilagodile staništima koje naseljavaju. Razvile su prilagodbe u ponašanju, fiziologiji i morfologiji koje nekima omogu uju gotovo potpuno akvati ki na in života, neovisan o kopnu, ali ovisan o zraku. Naseljavaju samo tropska podru ja i to gotovo isklju ivo Tihog oceana. Najbrojnije vrstama su oko Australije te Malezije i Indonezije.

9 Summary

In this work I tried to describe some of marine snake characteristics, as they are the most numerous marine reptiles. Although not so rich species-wise (70), they have succeeded in adapting to their respectable habitats. To do so they developed distinctive abilities - not only morphological and physiological but behavioral as well. They did it so well that some of them are almost fully aquatic, surfacing only to take some air. They live only in tropics and only in the Pacific ocean. Australia, Malasia and Indonesia are richest with marine snake species.